

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Surya

Energi surya merupakan energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Teknis pemanfaatan energi surya mulai muncul pada tahun 1839, ditemukan oleh A.C.Becquerel, beliau menggunakan kristal silikon untuk mengkonversi radiasi matahari, namun sampai tahun 1955 metode itu belum banyak dikembangkan. Upaya pengembangan kembali cara memanfaatkan energi surya baru muncul lagi pada tahun 1958. Sel silikon yang dipergunakan untuk mengubah energi surya menjadi sumber daya mulai diperhitungkan sebagai metode baru, karena dapat dipergunakan sebagai sumber daya bagi satelit angkasa luar (Sutarno, 2013).

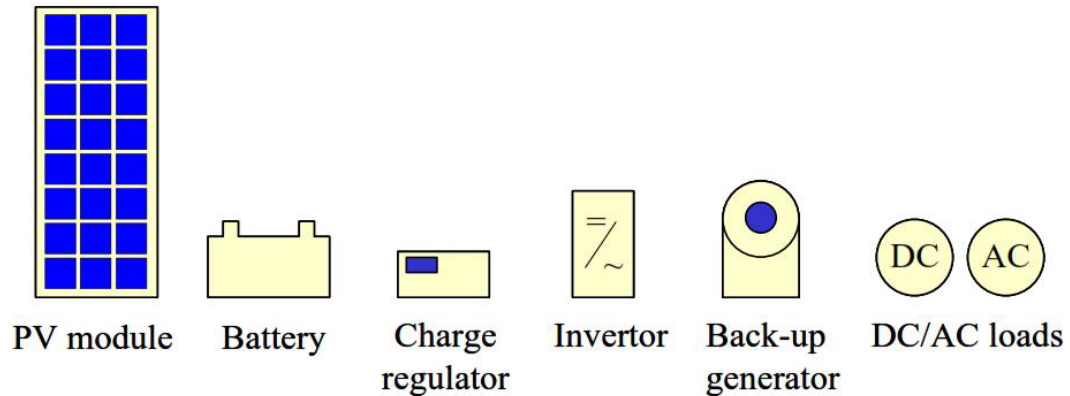
2.2 Teknologi Energi Surya Fotovoltaik

Kolektor surya komersial yang umumnya dikenal dunia saat ini adalah modul fotovoltaik. Modul fotovoltaik adalah salah satu bagian dari photovoltaik solar system. Modul fotovoltaik merupakan bagian inti dari sistem pembangkit tenaga surya, seperti halnya generator yang mengkonversi suatu bentuk energi ke bentuk energi lainnya. Dalam PV system dibutuhkan baterai, charge regulator, inverter dan beban AC/DC sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Sel surya fotovoltaik adalah peralatan yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik. Saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya sel surya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari sel surya dapat menghasilkan tegangan.

Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus short-circuit dalam skala milliampere per cm^2 . Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total menghasilkan

tegangan DC sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (Zeman, Miro. 2011).



Gambar 2.1. *PV Solar system*

(Sumber : Zeman, Miro. 2011. *Solar Cells*)

Panel sel surya umumnya mengeluarkan tegangan listrik beraliran DC. Jumlah dan kapasitas panel yang dibutuhkan pada suatu aplikasi tergantung pada beban alat listrik dan intensitas sinar matahari. Standar panel surya yang terdapat di pasar umumnya berkapasitas puluhan sampai dengan ratusan watt (misalnya, 20W, 40W, 80W, 100W, 120W dan seterusnya). Sistem photovoltaik bekerja dengan sistem efek photovoltaik. Efek Photovoltaik merupakan fenomena fisika dimana energi cahaya datang, yang mengenai permukaan sel surya akan diubah menjadi energi listrik. Arus listrik dapat timbul, karena energi foton cahaya datang berhasil membebaskan elektron-elektron dalam sambungan semikonduktor tipe n dan tipe p untuk dapat mengalir (Erlinawati, 2013).

Pada dasarnya, sel surya yang berbasis semi-konduktor silikon cara kerjanya sama dengan perilaku sebuah dioda silikon. Dengan kata lain, sel surya silikon adalah sebuah dioda yang besar. Sel surya photovoltaik terdiri dari wafer tipis lapisan silikon tipe-n (n = negatif) yang dicemari unsur fosfor (phospor-doped) dan lapisan tebal silikon tipe-p (p = positif) yang tercemar unsur Boron (borondoped). Lapisan silikon jenis n merupakan semi-konduktor yang berkelebihan elektron sehingga kelebihan muatan negatif. Sedangkan lapisan silikon jenis p merupakan semi-konduktor yang berkelebihan proton (hole) sehingga kelebihan muatan positif. Medan listrik timbul dekat permukaan atas sel

dimana kedua lapisan p-n tersebut bersentuhan. Ketika photon sinar matahari menyentuh permukaan sel surya tersebut, medan listrik ini memberikan momentum dan pergerakan elektron bebas yang dirangsang oleh photon matahari, sehingga menimbulkan aliran arus ketika sel surya dihubungkan ke beban listrik (Erlinawati, 2013). Adapun komponen dari sel surya dijelaskan sebagai berikut:

1. Substrat/*metal backing*

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau molybdenum. Untuk sel surya dye-sensitized (DSSC) dan sel surya organik, substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga material yang digunakan yaitu material yang konduktif tapi juga transparan seperti indium tin oxide (ITO) dan fluorine doped tin oxide (FTO).

2. Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Material semikonduktor yang umum digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari junction atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p (material-material yang disebutkan diatas) dan tipe-n (silikon tipe-n, CdS, dll) yang membentuk p-n junction. P-n junction ini menjadi kunci dari prinsip kerja sel surya.

3. Kontak metal / contact grid

Selain substrat sebagai kontak positif, diatas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

4. Lapisan antireflektif

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh

lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

5. Enkapsulasi / cover glass

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.

2.3 Proses Pengeringan

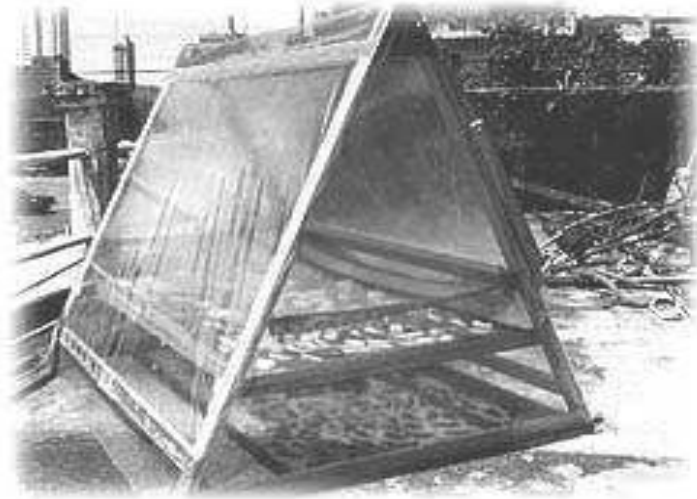
Pengeringan merupakan proses pengurangan kadar air suatu bahan hingga mencapai kadar air tertentu. Dasar proses pengeringan adalah terjadinya penguapan air bahan ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dengan bahan yang dikeringkan (Trayball E.Robert, 1981).

Proses pengeringan pada dasarnya melibatkan 3 mode pemanasan yang terjadi secara bersamaan di dalam pengering surya. yaitu panas ditransfer ke pengering surya melalui konveksi, konduksi dan iradiasi. Dalam konveksi, perpindahan panas terjadi gerakan asli dari benda yang dihangatkan, kelembaban yang dihilangkan dengan cara diuapkan dari permukaan padat oleh udara panas atau gas. Energi yang ditransfer dari partikel ke partikel disebut konduksi. Sumber panas disuplai dari permukaan yang dipanaskan sehingga mengakibatkan kelembaban. Proses pengering ini terjadi secara tidak langsung memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi. Energi diangkut melalui ruang dari gelombang elektromagnetik dalam radiasi terdiri dari berbagai sumber radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang mulai dari spektrum matahari ke *microwave* (0,2 m hingga 0,2 m). Materi menyerap hanya sebagian dari matahari radiasi tergantung pada panjang gelombangnya (Mujumdar dan Menon,1995).

2.3.1 Pengering Surya Secara Langsung

Pengering surya secara langsung biasanya terdiri dari penutup transparan, biasanya kaca atau Perspex seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Fungsi penutup transparan adalah untuk mengurangi kerugian konvektif langsung ke lingkungan, untuk melindungi produk dari paparan lingkungan dan untuk

meningkatkan suhu di dalam pengering ketika dipanaskan bersama radiasi matahari langsung. Banyak jenis pengering langsung telah dirancang dan dipelajari secara eksperimental oleh peneliti lain.



Gambar 2.2 Pengering Surya Secara langsung

(sumber : *Solar Dryer Systems and the Internet: important resources to improve food Preparation, 2000*)

Pengering surya secara langsung mampu mengeringkan sejumlah produk pertanian telah dirancang oleh Hallak et al, memiliki lembaran logam galvanis berdinding ganda telah digunakan sebagai dasar dan penutup samping. Permukaan atas ditutupi dengan lembaran polycarbon transparan karena tidak mudah pecah untuk memungkinkan radiasi matahari. Suhu tertinggi yang tercatat masing-masing di kompartemen atas, tengah dan bawah adalah 78 °C, 67 °C dan 51 °C. Pengering dapat menampung 20 kg buah dan sayuran. Pengering hanya membutuhkan 3 hari untuk menyelesaikan proses pengeringan (H. Hallak, 1996).

2.3.2 Pengering Surya Secara Tidak Langsung

Pengering matahari tidak langsung menghasilkan kualitas produk yang tinggi dengan mempertahankan suhu yang rendah, sangat cocok untuk diaplikasikan dalam persiapan tanaman seperti manis seperti kentang dan anggur yang kandungan vitaminnya mudah dihancurkan oleh sinar matahari atau di bawah udara panas yang dipanaskan oleh matahari. Sistem terdiri dari kolektor surya dan ruang pengering. Produk ini tidak mengekspos langsung ke iradiasi

matahari tetapi menerima udara panas dari kolektor surya (L. Diamante, 1993). Pergerakan udara panas ke dalam ruang pengering dapat disebabkan oleh angin alami atau dengan kipas seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Pengering Surya Tidak Langsung

(Sumber : *Photovoltaic Thermal System*, 2006)

Azad E. merancang dan menguji solar tidak langsung untuk produk pertanian terdiri dari kolektor surya yang dicat hitam yang terbuat dari bingkai kayu yang diisolasi oleh busa polystyrene. Lembar fiberglass tertutup di bagian atas untuk mengurangi panas yang hilang dan batu yang dicat hitam sebagai penyimpanan termal, ditempatkan pada isolator. Mode pengeringan tidak langsung membutuhkan waktu pengeringan yang lebih lama tetapi menghasilkan kualitas yang lebih baik. Kolektor surya terbuat dari penutup foil transparan dan selembat penyerap. Kolektor surya mengumpulkan radiasi matahari dan memanaskan udara masuk dari inlet. Suhu maksimum dicatat di ruang pengering adalah 50°C ketika suhu sekitar 30°C, waktu pengeringan yang dibutuhkan adalah 7-8 hari dengan kapasitas pemuatan 100 kg / m² ruang pengering (E. Azad, 2008).

Secara umum perbedaan pengeringan secara langsung dan tidak langsung dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Perbedaan Pengeringan Langsung dan Tidak Langsung

Pengeringan Langsung	Pengeringan Tidak Langsung
Suhu yang didapatkan untuk proses pengeringan rendah, hanya sekitar 30 – 35°C	Suhu yang didapatkan untuk proses pengeringan dapat diatur sesuai kebutuhan, sekitar 70 – 100°C
Pengeringan dilakukan ditempat terbuka sehingga produk yang dihasilkan terkesan kotor (berdebu)	Pengeringan dilakukan ditempat tertutup sehingga produk yang dihasilkan relatif lebih bersih.
Apabila terjadi hujan maka produk yang dikeringkan harus segera dipindahkan atau diangkat.	Apabila terjadi hujan, produk yang dikeringkan tidak perlu dipindahkan atau diangkat.

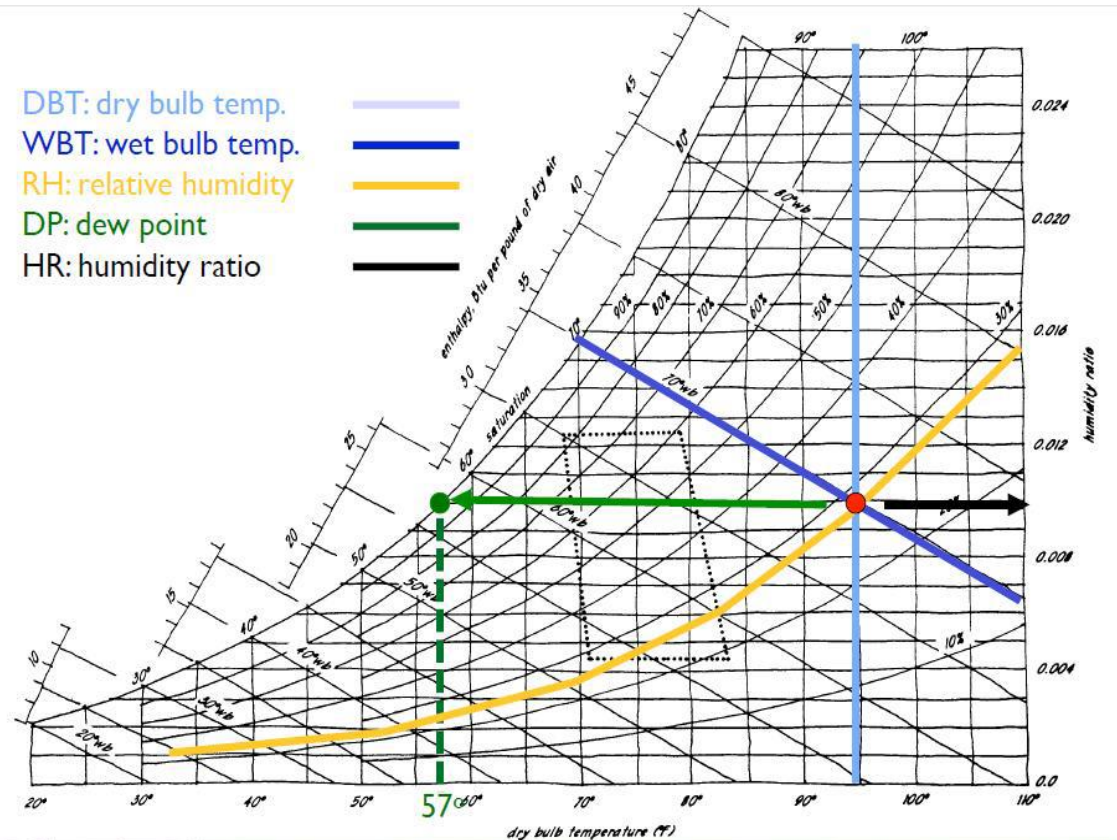
(sumber : *eprints.undip.ac.id*, 2017)

2.3.3 Mekanisme Pengeringan

Mekanisme pengeringan diterangkan melalui teori tekanan uap. Air yang diuapkan terdiri dari air bebas dan air terikat. Air bebas berada di permukaan dan yang pertama kali mengalami penguapan. Bila air permukaan telah habis, maka terjadi migrasi air dan uap air dari bagian dalam bahan secara difusi. Migrasi air dan uap terjadi karena perbedaan tekanan uap pada bagian dalam dan bagian luar bahan (Handerson dan Perry, 1976).

Sebelum proses pengeringan berlangsung, tekanan uap air di dalam bahan berada dalam keseimbangan dengan tekanan uap air di udara sekitarnya. Pada saat pengeringan dimulai, uap panas yang dialirkan meliputi permukaan bahan akan menaikkan tekanan uap air, terutama pada daerah permukaan, sejalan dengan kenaikan suhunya. Pada saat proses ini terjadi, perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air berlangsung atau terjadi pengeringan pada permukaan bahan. Setelah itu tekanan uap air pada permukaan bahan akan menurun. Setelah kenaikan suhu terjadi pada seluruh bagian bahan, maka terjadi pergerakan air secara difusi dari bahan ke permukaannya dan seterusnya proses penguapan pada permukaan bahan diulang lagi. Akhirnya setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan akan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara sekitarnya (Nyayu Aisyah, 2015).

Selama proses pengeringan terjadi penurunan suhu bola kering udara, disertai dengan kenaikan kelembaban mutlak, kelembaban nisbi, tekanan uap dan suhu pengembunan udara pengering. Entalpi dan suhu bola basah udara pengering tidak menunjukkan perubahan sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Kurva Psikometrik Proses Pengeringan

(Sumber : Perry's Chemical Handbook, 1989)

Menurut Brooker, et al., (1974), beberapa parameter yang mempengaruhi waktu yang dibutuhkan dalam proses pengeringan, antara lain :

a. Suhu Udara Pengering

Laju penguapan air bahan dalam pengeringan sangat ditentukan oleh kenaikan suhu. Bila suhu pengeringan dinaikkan maka panas yang dibutuhkan untuk penguapan air bahan menjadi berkurang. Suhu udara pengering berpengaruh terhadap lama pengeringan dan kualitas bahan hasil pengeringan. Makin tinggi suhu udara pengering maka proses pengeringan makin singkat.

Biaya pengeringan dapat ditekan pada kapasitas yang besar jika digunakan pada suhu tinggi, selama suhu tersebut sampai tidak merusak bahan.

b. Kelembaban Relatif Udara Pengeriing

Kelembaban udara berpengaruh terhadap pemindahan cairan dari dalam ke permukaan bahan. Kelembaban relatif juga menentukan besarnya tingkat kemampuan udara pengeriing dalam menampung uap air di permukaan bahan. Semakin rendah RH udara pengeriing, maka makin cepat pula proses pengeringan yang terjadi, karena mampu menyerap dan menampung uap air lebih banyak dari pada udara dengan RH yang tinggi. Laju penguapan air dapat ditentukan berdasarkan perbedaan tekanan uap air pada udara yang mengalir dengan tekanan uap air pada permukaan bahan yang dikeringkan. Tekanan uap jenuh ini ditentukan oleh besarnya suhu dan kelembaban relatif udara. Semakin tinggi suhu, kelembaban relatifnya akan turun sehingga tekanan uap jenuhnya akan naik dan sebaliknya.

c. Kecepatan Aliran Udara Pengeriing

Pada proses pengeringan, udara berfungsi sebagai pembawa panas untuk menguapkan kandungan air pada bahan serta mengeluarkan uap ai tersebut. Air dikeluarkan dari bahan dalam bentuk uap dan haru secepatnya dipindahkan dari bahan. Bila tidak segera dipindahkan maka air akan menjenuhkan atmosfer pada permukaan bahan, sehingga akan memperlambat pengeluaran air selanjutnya. Aliran udara yang cepat akan membawa uap air dari permukaan bahan dan mencegah uap air tersebut menjadi jenuh di permukaan bahan. Semakin besar volume udara yang mengalir, maka semakin besar pula kemampuannya dalam membawa dan menampung air di permukaan bahan.

d. Kadar Air Bahan

Pada proses pengeringan sering dijumpai adanya variasi kadar air bahan. Variasi ini dapat dipengaruhi oleh tebalnya tumpukan bahan, RH udara pengeriing serta kadar air awal bahan. Hal tersebut dapat diatasi dengan cara : (1)

mengurangi ketebalan tumpukan bahan, (2) menaikkan kecepatan aliran udara pengering, (3) pengadukan bahan.

2.3.4 Mesin Pengering

Mesin pengering merupakan peralatan yang digunakan untuk membantu mempercepat proses pengeringan. Pemilihan mesin pengering dilakukan dari pertimbangan terhadap jenis bahan yang akan dikeringkan, mutu hasil akhir yang dikeringkan dan pertimbangan ekonomi. Pada Tabel 2.2 ditampilkan tipe-tipe mesin pengering yang umumnya digunakan hingga saat ini.

Tabel 2.2 Tipe – Tipe Mesin Pengering

Kriteria	Tipe
Jenis Operasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Batch. Contoh : <i>try and compartment dryer, through circulation dryer, vacuum tray dryer.</i> 2. Continue. Contoh : <i>pneumatic dryer, tunnel dryer, rotary dryer, fluidized bed dryer, drum dryer, cylinder dryer, tray dryer, spray dryer.</i>
Metode Perpindahan Panas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konduksi. Contoh : <i>belt conveyor dryer, rotary dryer, spray dryer, tray dryer, fluidized bed dryer, through dryer.</i> 2. Konveksi. Contoh : <i>drum dryer, vacuum tray dryer, steam jacket rotary dryer.</i> 3. Radiasi. Contoh : <i>microwave.</i>
Tekanan Operasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vakum. Contoh : <i>vacuum rotary dryer, vacuum tray dryer, freeze dryer.</i> 2. Tekanan atmosfer. Contoh : <i>rotary dryer, tunnel dryer, drum dryer, cylinder dryer, tray dryer, spray dryer.</i>
Waktu	<ol style="list-style-type: none"> 1. Singkat (< 1 menit). Contoh : <i>flash dryer, spray dryer, drum dryer.</i> 2. Sedang (1-120 menit). Contoh : <i>belt conveyor dryer, fluidized bed dryer, rotary dryer, tray dryer.</i> 3. Panjang (>120 menit). Contoh : <i>tray dryer (batch).</i>

(Sumber : Jurnal Mujumdar dan Menon, 1995)

2.4 Jenis – Jenis Alat Pengering

2.4.1 *Tray dryer*

Pengering baki (*tray dryer*) disebut juga pengering rak, dapat digunakan untuk mengeringkan padatan bergumpal atau pasta, yang ditebarkan pada baki logam dengan ketebalan 10-100 mm. Proses pengeringan dengan menggunakan alat pengering *tray dryer* yaitu dengan meletakkan material yang akan dikeringkan pada baki yang langsung berhubungan dengan media pengering. Cara perpindahan panas yang umum digunakan adalah konveksi dan perpindahan panas secara konduksi juga dimungkinkan dengan memanaskan baki tersebut. Gambar alat pengering *Tray dryer* dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 *Tray dryer*

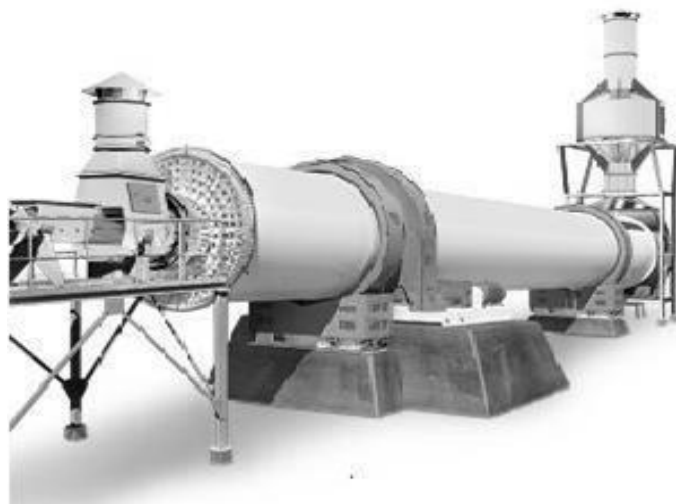
(Sumber : https://www.academia.edu/9404588/Jenis_jenis_dryer)

Prinsip kerja pengering tray dryer yaitu dapat beroperasi dalam keadaan vakum dan dengan pemanasan tak langsung. Uap dari zat padat dikeluarkan dengan ejector atau pompa vakum. Pengeringan zat padat memerlukan waktu sangat lama dan siklus pengeringan panjang yaitu 4-8 jam per tumpak. Selain itu dapat juga digunakan sirkulasi tembus, tetapi tidak ekonomis karena pemendekan siklus pengeringan tidak akan mengurangi biaya tenaga kerja yang diperlukan untuk setiap tumpak (Carmelita Bernadetha, 2018).

2.4.2 Rotary Dryer

Rotary dryer atau bisa disebut *drum dryer* merupakan alat pengering berbentuk sebuah drum yang berputar secara kontinyu yang dipanaskan dengan tungku atau gasifier. Alat pengering ini dapat bekerja pada aliran udara melalui poros silinder pada suhu 1200-1800°F tetapi pengering ini lebih seringnya digunakan pada suhu 400-900°F.

Pengering *rotary dryer* biasa digunakan untuk mengeringkan bahan yang berbentuk bubuk, granula, gumpalan partikel padat dalam ukuran besar. Pemasukkan dan pengeluaran bahan terjadi secara otomatis dan berkesinambungan akibat gerakan vibrator, putaran lubang umpan, gerakan berputar dan gaya gravitasi. Sumber panas yang digunakan dapat berasal dari uap listrik, batubara, minyak tanah dan gas. Debu yang dihasilkan dikumpulkan oleh *scrubber* dan penangkap air elektrostatis. Proses pengeringan terjadi ketika bahan dimasukkan ke dalam silinder yang berputar kemudian bersamaan dengan itu aliran panas mengalir dan kontak dengan bahan. Didalam drum yang berputar terjadi gerakan pengangkatan bahan dan menjatuhkannya dari atas ke bawah sehingga kumpulan bahan basah yang menempel tersebut terpisah dan proses pengeringan bisa berjalan lebih efektif. Sumber panas didapatkan dari gas yang diubah menjadi uap panas dengan cara pembakaran (Carmelita Bernadetha, 2018).. Gambar alat *rotary dryer* dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut.



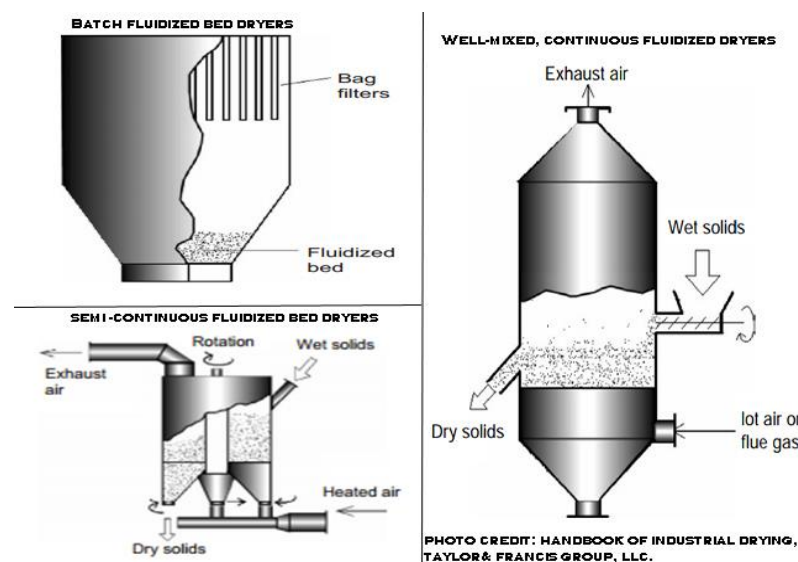
Gambar 2.6 *rotary dryer*

(Sumber : https://www.academia.edu/9404588/Jenis_jenis_dryer)

2.4.3 Fluidized Bed Dryer

Pengeringan hampan terfluidisasi (*Fluidized Bed Drying*) adalah proses pengeringan dengan memanfaatkan aliran udara panas dengan kecepatan tertentu yang dilewatkan menembus hampan bahan sehingga hampan bahan tersebut memiliki sifat seperti fluida. Metode pengeringan fluidisasi digunakan untuk mempercepat proses pengeringan dan mempertahankan mutu bahan kering. Pengeringan ini banyak digunakan untuk pengeringan bahan berbentuk partikel atau butiran, baik untuk industri kimia, pangan, keramik, farmasi, pertanian, polimer dan limbah. Proses pengeringan dipercepat dengan cara meningkatkan kecepatan aliran udara panas sampai bahan terfluidisasi. Dalam kondisi ini terjadi penghambusan bahan sehingga memperbesar luas kontak pengeringan, peningkatan koefisien perpindahan kalor konveksi, dan peningkatan laju difusi uap air.

Kecepatan minimum fluidisasi adalah tingkat kecepatan aliran udara terendah dimana bahan yang dikeringkan masih dapat terfluidisasi dengan baik, sedangkan kecepatan udara maksimum adalah tingkat kecepatan tertinggi dimana pada tingkat kecepatan ini bahan terhembus ke luar ruang pengering (Carmelita Bernadetha, 2018). Gambar alat *Fluidized Bed Drying* dapat dilihat pada gambar 2.7 berikut.



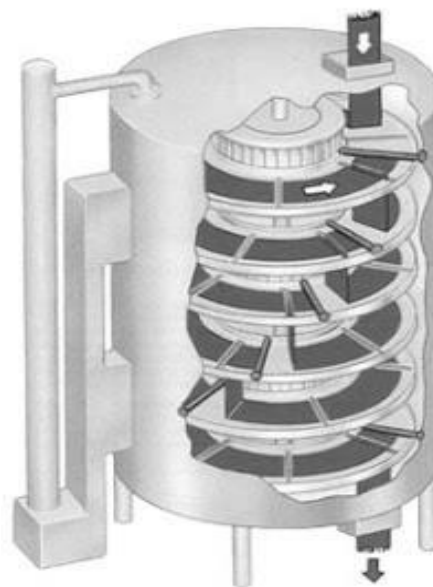
Gambar 2.7 *Fluidized Bed Drying*

(Sumber : https://www.academia.edu/9404588/Jenis_jenis_dryer)

2.4.4 Turbo Dryer

Turbo dryer adalah menara pengering dengan resirkulasi internal pemanas gas atau pengering yang paling umum digunakan untuk produk dengan jumlah yang tidak terlalu besar, terdiri dari satu atau beberapa kumpulan nampan yang ditempatkan pada ruang terisolasi dimana udara panas dialiri oleh kipas dan kisi-kisi pemandu yang dirancang sesuai keperluan. Pengering ini umumnya membutuhkan sejumlah pekerja untuk membongkar muat produk. Waktu pengeringan umumnya cukup panjang (10-60 jam). Kunci keberhasilan operasi pengeringan ini adalah keseragaman aliran udara pengeringan terlama merupakan penentu lama pengeringan keseluruhan yang dibutuhkan, yang selanjutnya menentukan kapasitas pengering. *Turbo dryer* ini digunakan untuk mengeringkan bahan yang tahan terhadap kontak langsung dengan udara panas yang di alirkan ke dalam *turbo dryer*.

Prinsip kerja *turbo dryer* adalah mengedarkan udara atau gas keluar antar ruang yang pengedarannya diatur oleh turbo fan, dimana turbo fan ini yang akan menggerakkan udara pemanas untuk mengeringkan bahan. Pemanasan udara biasanya dibuat di bagian bawah menara dan dibuang dari atas, memberikan aliran melawan arus (Carmelita Bernadetha, 2018). Gambar alat *turbo dryer* dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8 Turbo Dryer

(Sumber : https://www.academia.edu/9404588/Jenis_jenis_dryer)

2.5 Kerupuk Ikan

Berdasarkan SNI nomor 01-2713-1999, Kerupuk ikan adalah suatu produk makanan kering, yang dibuat dari tepung pati, daging ikan dengan penambahan bahan-bahan lainnya dan bahan tambahan makanan yang diizinkan.

Syarat mutu kerupuk yang digunakan sebagai acuan yaitu syarat mutu kerupuk ikan, seperti tertera dalam SNI 01-2713-1999 (BSN, 1999). Syarat mutu kerupuk ikan dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Syarat Mutu Kerupuk Ikan SNI 01-2713-1999

No	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1	Rasa dan Aroma	-	Khas kerupuk ikan
2	Serangga dalam bentuk stadia dan potongan – potongan serta benda asing	-	Tidak ternyata
3	Kapang	-	Tidak ternyata
4	Air	%	Maksimal 11
5	Abu tanpa garam	%	Maksimal 1
6	Protein	%	Maksimal 6
7	Lemak	%	Maksimal 0,5
8	Serat kasar	%	Maksimal 1
9	Bahan tambahan makanan	-	Tidak ternyata atau sesuai dengan peraturan yang berlaku
10	Cemaran logam berbahaya (Pb, Cu, Hg)	-	Tidak ternyata atau sesuai dengan peraturan yang berlaku
11	Cemaran Arsen (As)	-	Tidak ternyata atau sesuai dengan peraturan yang berlaku

(Sumber : Badan Standardisasi Nasional, 1999)

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan kerupuk dibagi atas dua kelompok, yaitu bahan baku utama dan bahan baku tambahan. Bahan baku utama adalah bahan yang digunakan dalam jumlah yang besar dan fungsinya tidak dapat digantikan oleh bahan baku lain, seperti tepung tapioka atau tepung sagu. Bahan

baku tambahan adalah bahan baku penolong dan bahan baku penambah cita rasa, seperti tepung ikan, udang ataupun tepung tulang rawan (Lavlinesia (1995).

1. Tepung tapioka

Tepung tapioka adalah hasil ekstraksi pati ubi kayu yang telah mengalami proses pencucian secara sempurna serta dilanjutkan dengan pengeringan. Tepung tapioka hampir seluruhnya terdiri dari pati. Pati merupakan senyawa yang tidak memiliki rasa dan bau (bland flavour) sehingga modifikasi rasa pada tepung tapioka mudah dilakukan. Ukuran granula pati tapioka berkisar antara 5-35 mikron (Muchtadi et al., 1988).

2. Air

Jumlah air yang digunakan dalam adonan kerupuk akan mempengaruhi tingkat elastisitas adonan kerupuk, penyerapan minyak dan kerenyahan produk akhir. Bila jumlah air kurang, tidak terjadi gelatinisasi sempurna selama pengukusan sehingga kerupuk tidak dapat mengembang dengan baik. Apabila air yang digunakan berlebih, adonan menjadi lembek sehingga adonan sulit dibentuk dan kerupuk sulit diiris. Perbandingan air dan tepung untuk mendapatkan adonan yang baik adalah 1:3 (Lavlinesia, 1995).

3. Bahan Pengembang

Pengembang adonan dapat berasal dari uap air, udara dan gas CO₂, tetapi yang utama adalah pengembang CO₂ yang berasal dari pereaksi kimia atau hasil fermentasi mikroorganisme. Menurut Lavlinesia (1995), pereaksi kimia yang umum digunakan merupakan kumpulan garam anorganik yang ditambahkan ke dalam bahan pangan atau gabungan dengan pereaksi lainnya.

4. Bumbu-bumbu

Bumbu yang digunakan dalam pemuatan kerupuk yaitu garam dan bawang putih. Menurut Wiriano (1984), banyaknya garam yang ditambahkan dalam pembuatan kerupuk biasanya 2,5-3%. Bawang Putih (*Allium sativum* L) digunakan dalam pembuatan adonan kerupuk sebagai penambah aroma dan untuk meningkatkan cita rasa produk yang dihasilkan (Palungkun dan Budhiarti, 1992).

2.6 Perpindahan Panas

Energi matahari yang dipancarkan ke suatu permukaan dapat menyebabkan terjadinya transfer panas. Transfer panas atau perpindahan panas yang terjadi dalam proses pengeringan dapat meliputi konduksi, konveksi, dan radiasi, sebagaimana yang dijelaskan sebagai berikut (Mc Cabe, 1993).

2.6.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi secara umum adalah proses dengan panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah didalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Energi berpindah secara konduksi (conduction) atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradien suhu normal (Mc Cabe, 1993):

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \dots(1)$$

Dengan :

q = Laju perpindahan panas (Watt)

k = Konduktivitas termal (W/mK)

A = Luas Penampang yang terletak pada aliran panas (m^2)

ΔT = Perbedaan temperatur diantara dua permukaan (K)

Δx = Tebal permukaan (m)

2.6.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi bergantung pada nilai koefisien konveksi fluidanya. Konveksi merupakan perpindahan kalor yang disertai dengan perpindahan massa medianya, dan media konveksi adalah fluida. Konveksi terjadi karena adanya perbedaan kecepatan fluida bila suhunya berbeda, yang tentunya akan berakibat pada perbedaan berat jenis (berat tiap satuan volume). Perpindahan panas secara konveksi dirumuskan sebagai berikut (Mc Cabe, 1993) :

$$q = HA(T_w - T_\infty) \quad \dots(2)$$

Dimana :

H = Koefisien perpindahan kalor konveksi ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

A = Luas Penampang yang terletak pada aliran panas (m^2)

T_w = Temperatur dinding ($^{\circ}C$)

T_f = Temperatur fluida ($^{\circ}C$)

Q = Laju perpindahan panas konveksi (watt)

2.6.3 Perpindahan Panas Radiasi

Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik atau paket-paket energi (photon) yang dapat dibawa sampai pada jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium (ini yang menyebabkan mengapa perpindahan panas radiasi sangat penting pada ruang vakum), Perpindahan panas secara radiasi dapat dirumuskan sebagai berikut (McCabe, 1993) :

$$q_{rad} = \sigma \epsilon (T_1^4 - T_2^4) \quad \dots(3)$$

Dimana σ adalah konstanta Stefan-Boltzman dengan nilai $5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$, ϵ adalah emisivitas benda dan T adalah beda temperatur.

2.7 Konsumsi Energi Spesifik

Konsumsi energi spesifik yaitu suatu intensitas produksi energi yang ditunjukkan oleh jumlah energi yang dibutuhkan untuk suatu unit proses (Frank (xin x.) Zhu, 2014). Konsumsi energi spesifik mengindikasikan besarnya pemakaian energi untuk menghasilkan suatu produk.

$$\text{Specific energy} = \frac{\text{net energi input}}{\text{feed rate}} \quad (\text{Frank (xin x.) Zhu, 2014}). \quad \dots(4)$$

Besarnya kerupuk kering dengan kadar tertentu dapat dicari dengan rumus sebagai berikut (Trayball, 1981) :

$$M_k = \frac{(100 - m_1) \times m_b}{100} \quad \dots(5)$$

Dimana :

m_k = Massa kering (kg)

m_b = Massa basah (kg)

m_1 = Kadar air awal (%)